

张海渠 等编著

DUANZAO JISHU WENDA

# 锻造 技术

问答



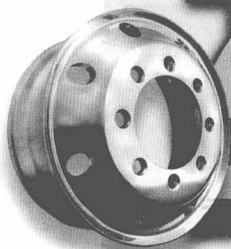
化学工业出版社

张海渠 等编著

DUANZAO JISHU WENDA

# 锻造 技术

问答



化学工业出版社

·北京·

本书以问答的形式,介绍锻造原理、锻造前处理、锻造设备、锻造工艺及注意事项、锻造后处理、多种难锻金属的锻造特点和工艺、特种锻造方法,以及锻模的制造、使用和维护等内容,针对性强,便于读者理解和解决生产中遇到的实际问题。

本书适宜从事锻造生产的技术人员使用。

#### 图书在版编目(CIP)数据

锻造技术问答/张海渠等编著. —北京:化学工业出版社, 2009.9

ISBN 978-7-122-06278-9

I. 铸… II. 张… III. 锻造-问答 IV. TG31-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第161667号

---

责任编辑:邢涛

责任校对:战河红

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

850mm×1168mm 1/32 印张12½ 字数343千字

2009年10月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

锻造是诸多材料加工方法中的一类。锻造属于体积成形，是通过金属体积的转移和分配，来获得机器零件或接近于零件尺寸的毛坯，锻造的产品称为锻件。锻造多在加热状态下进行。

金属材料通过锻造成形，可以获得所需要的形状和尺寸，同时其内部组织能够得到显著改善，使用性能得到提高。因此，承受较大、复杂载荷的各种零件或构件，一般都采用锻造方法进行生产。

锻造是历史久远的生产行业，也是飞速发展的学科领域。从依靠简单机械装置驱锤的古老锻造模式，到以高压蒸汽、压缩空气、液体等介质驱动多种锻造机器、使用多样化模具体系进行的近、现代锻造生产，进而到采用计算机控制的、全自动的、集成化锻造生产线或柔性锻造加工系统，传统的生产方式正在被先进生产方式改造、取代。因此锻造工作者需要不断充电来适应学科、行业与时俱进的发展，本书正是针对这种需求而编写的。

本书共分九章，分别介绍了锻造成形的变形力学、金属学原理，基本锻造设备以及在其上进行的锻造工艺，多种难锻金属的锻造特点及工艺，多种具有某些特点、能够实现普通锻造难以达到的要求的锻造方法，锻模制造、使用维护等内容。

本书注重专业理论与生产实践经验相结合，以问答形式呈现知识点，针对性强，容易理解。可供从事锻造生产的技术人员参考。

陈川、张照璇、梁悦参与了资料收集整理工作，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中不足之处恳请读者批评指正。

张海渠

2009年6月

# 目 录

第一章 锻造成形基础 .....	1
1-1 什么是锻造？锻造怎样分类？各有什么特点？ .....	1
1-2 锻造生产工艺过程一般是怎样的？锻造成形的实质是什么？ .....	2
1-3 什么是镦粗变形？主要工艺特点是什么？ .....	2
1-4 什么是压入变形？主要工艺特点是什么？ .....	5
1-5 什么是拔长变形？主要工艺特点是什么？ .....	6
1-6 什么是冲孔变形？主要工艺特点是什么？ .....	9
1-7 常用的扩孔方法有哪些？主要工艺特点是什么？ .....	11
1-8 什么是弯曲变形？ .....	13
1-9 什么是扭转变形？如何实现？ .....	14
1-10 什么是挤压变形？工艺实现有什么特点？ .....	15
1-11 什么是开式模锻？影响开式模锻成形的因素有哪些？ .....	17
1-12 什么是闭式模锻？有什么特点？什么是体积偏差？如何控制？ .....	19
1-13 什么是变形的不均匀性与协调性？有何危害？ .....	22
1-14 什么是电热镦粗？ .....	23
1-15 什么是刚端？刚端与变形区的变形流动互有什么影响？如何加以利用？ .....	23
1-16 什么是主作用内力？它在毛坯内的分布规律是怎样的？ .....	25
1-17 什么是折叠？分为哪些种类？对流汇合型与局部压入型折叠各是怎样形成的？ .....	26
1-18 表层移动型折叠和回流卷曲型折叠各是怎样形成的？两者有何区别？如何控制？ .....	27
1-19 锻造过程中的摩擦分哪几种？各有什么特点？ .....	29
1-20 锻造时摩擦系数受哪些因素的影响？ .....	30

<b>第二章 锻造变形前工序</b> .....	32
2-1 锻造常用的原材料有哪些？锻造用原毛坯怎样获得？ .....	32
2-2 锻造生产常用钢材的牌号有哪些？ .....	32
2-3 锻造常用有色金属及特殊合金的牌号有哪些？ .....	33
2-4 对锻造原材料有哪些要求？如何检验？ .....	33
2-5 锻造所用型材有哪些常见的缺陷？如何去除？ .....	34
2-6 什么是下料？剪切下料的装置、过程和特点是怎样的？ 如何保证剪切质量？ .....	35
2-7 什么是锯切下料？有哪些种类？各有什么特点？ .....	38
2-8 什么是冷折下料？有什么特点？冷折缺口怎样开设？ .....	39
2-9 什么是砂轮片切割、电火花切割、气割？各有什么特点？ ..	40
2-10 锻前加热的目的是什么？加热方法有哪些？原理及选择 原则是什么？ .....	41
2-11 什么是电阻炉加热、接触电加热和盐浴炉加热？各有 什么特点？ .....	42
2-12 什么是感应电加热？有什么特点？各种电加热方法的 应用范围是怎样的？ .....	44
2-13 什么是氧化？其危害是什么？影响氧化的因素有哪些？ 怎样减少氧化？ .....	45
2-14 什么是脱碳？其危害是什么？影响脱碳的因素有哪些？ 怎样避免脱碳？ .....	47
2-15 什么是过热和过烧？其危害是什么？怎样避免过热和 过烧？ .....	47
2-16 加热内应力的种类、产生原因及在毛坯内分布是 怎样的？ .....	49
2-17 什么是锻造温度范围？确定锻造温度范围的方法是 什么？ .....	50
2-18 什么是锻造加热规范？如何表示？加热规范中的装料 炉温如何确定？ .....	52
2-19 加热速度如何表示？如何确定加热速度？ .....	54
2-20 均热保温包括哪些内容？如何确定保温时间？总加热 时间如何确定？ .....	55

2-21	少无氧化加热的方法有哪些？如何进行快速加热？	58
2-22	什么是介质保护加热？具体有哪些方法？	58
2-23	少无氧化火焰加热的方法有哪些？	61
2-24	测定加热温度有哪些方法？	62
<b>第三章 铸造常用设备</b>		<b>66</b>
3-1	锻造所使用的基本设备有哪些？怎样合理选择锻造设备？	66
3-2	什么是锤类锻造设备？什么是蒸汽-空气锤？其分类和用途是怎样的？	66
3-3	蒸汽-空气锤的主要零部件有哪些？具体结构是怎样的？	67
3-4	什么是液气锤？	70
3-5	蒸汽-空气锤常见的故障、产生原因以及排除方法是怎样的？	71
3-6	热模锻压力机的工作特点是怎样的？	74
3-7	热模锻压力机主要有哪几种结构类型？各自的工作特点是什么？	76
3-8	什么是装模高度？热模锻压力机的装模高度调节机构的结构是怎样的？	77
3-9	热模锻压力机常见的故障、原因以及排除方法是怎样的？	79
3-10	什么是平锻机？平锻机怎样分类？各自的特点是怎样的？	81
3-11	平锻机常见的故障、原因以及排除方法是怎样的？	82
3-12	什么是螺旋压力机？有哪些种类？螺旋压力机的工作特性是怎样的？	84
3-13	摩擦压力机常见的故障、原因以及排除方法是怎样的？	86
3-14	锻造液压机的结构、工作原理和类型是怎样的？	86
3-15	液压机的工作特点是怎样的？	88
3-16	液压机的主要技术参数有哪些？	89

3-17	锻造液压机常见的故障、原因以及排除方法是怎样的？	89
3-18	锻造设备的技术参数有哪些？设备能力的表示方法及相互折合关系是怎样的？	90

#### 第四章 锤上模锻 ..... 94

4-1	模锻工艺怎样分类？如何处理模锻工艺与模锻设备的关系？	94
4-2	锤上模锻有哪些特点？锤上模锻工艺制订的主要内容是什么？	96
4-3	锤上模锻件怎样分类？各类锻件的特点是怎样的？	98
4-4	什么是模锻件图？模锻件图设计的主要内容是什么？分模面怎样设计？	99
4-5	什么是加工余量、锻件公差和锻造余块？各有何特点？	101
4-6	如何确定加工余量和锻件公差？	103
4-7	什么是模锻斜度？如何确定模锻斜度？	107
4-8	什么是模锻圆角半径？如何确定圆角半径？	109
4-9	什么是冲孔连皮？连皮种类有哪些？如何设计冲孔连皮？	111
4-10	锻件图怎样绘制？锻件图技术条件包括哪些内容？	113
4-11	锤上模锻的变形工步和模膛怎样分类？各类模膛的作用是什么？	114
4-12	终锻模膛设计的主要内容是什么？热锻件图怎样设计？	115
4-13	飞边槽的结构有哪些种类？各类的特点是什么？飞边槽尺寸怎样设计？	117
4-14	钳口的结构和作用是怎样的？钳口的尺寸怎样设计？	118
4-15	预锻模膛设计的原则是怎样的？	121
4-16	怎样通过预锻模膛的合理设计来避免终锻时的缺陷？	122
4-17	短轴类锻件的制坯工步怎样选择和设计？	125
4-18	什么是计算毛坯？如何设计计算毛坯图？	126



4-19	头部带内孔的锻件和弯曲轴线的锻件如何设计计算 毛坯图? .....	128
4-20	通过计算毛坯图, 可以计算出哪些重要的参数? 繁重系数的意义是什么? .....	130
4-21	怎样根据计算毛坯选择长轴类锻件的制坯工步? .....	131
4-22	拔长模膛的结构和类型是怎样的? 拔长模膛怎样 设计? .....	133
4-23	滚挤模膛的结构和类型是怎样的? .....	135
4-24	滚挤模膛怎样设计? .....	136
4-25	卡压模膛的作用和结构是怎样的? 卡压模膛如何 设计? .....	139
4-26	弯曲模膛的作用和结构是怎样的? 弯曲模膛如何 设计? .....	140
4-27	成形模膛的作用和结构是怎样的? 成形模膛如何 设计? .....	142
4-28	墩粗台和压扁台的作用和结构是怎样的? 如何设计? ..	142
4-29	切断模膛的作用和结构是怎样的? 如何设计? .....	143
4-30	锤上模锻时, 原毛坯尺寸如何计算? .....	144
4-31	锤上模锻时, 模锻锤吨位如何选择? .....	146
4-32	什么是锻模中心和模膛中心? 如何求得模膛中心? .....	147
4-33	在锤锻模的模块上, 模膛布排的原则是什么? 模锻模膛 如何布排? .....	149
4-34	在锤锻模的模块上, 制坯模膛如何布排? .....	151
4-35	什么是错移力? 错移力产生的原因和危害是什么? .....	152
4-36	分模面为斜面时的错移力如何平衡? .....	153
4-37	模膛中心偏移量较大时的错移力如何平衡? .....	155
4-38	什么是模壁厚度? 什么是承击面积? 什么是模块中心? 如何设计? .....	156
4-39	什么是模块高度和锻模高度? 如何设计? .....	157
4-40	锻模宽度、长度, 以及锻模的重量如何设计? .....	158
4-41	什么是检验角? 如何设计? .....	159

4-42	锤锻模的模块纤维方向如何选择? 锤锻模材料如何选择? .....	159
4-43	锤锻模的结构形式与安装方法是怎样的? 镶块模有什么特点? .....	160
<b>第五章 其它设备上锻造 .....</b>		<b>163</b>
5-1	热模锻压力机上模锻有怎样的工艺特点? .....	163
5-2	热模锻压力机上的模锻件怎样分类? 各类有什么特点? ..	164
5-3	热模锻压力机上的模锻件图设计有怎样的特点? .....	165
5-4	热模锻压力机上模锻的变形工步有哪些种类? 变形工步如何选择? .....	167
5-5	什么是工步图? 怎样进行工步设计? .....	169
5-6	对于不同类型的锻件, 原毛坯尺寸如何确定? .....	172
5-7	热模锻压力机吨位如何选择? .....	173
5-8	热模锻压力机上锻模的结构有何特点? .....	174
5-9	热模锻压力机用模膛镶块的结构是怎样的? 如何设计? ..	177
5-10	热模锻压力机锻模的顶出器、导向装置的结构是怎样的? 如何设计? .....	178
5-11	什么是锻模的闭合高度? 如何设计? .....	180
5-12	螺旋压力机上模锻有怎样的工艺特点? .....	180
5-13	螺旋压力机上模锻件怎样分类? 锻件图设计有何要点? ..	181
5-14	螺旋压力机上模锻变形工步怎样选择和设计? .....	183
5-15	螺旋压力机上锻模结构有何特点? .....	185
5-16	螺旋压力机上锻模如何设计? .....	187
5-17	螺旋压力机规格如何选择? .....	188
5-18	平锻机上模锻有怎样的工艺特点? .....	190
5-19	平锻机上模锻件怎样分类? 锻件图设计有何注意事项? .....	191
5-20	平锻机上模锻时的顶锻第一、第二、第三规则是什么? ..	193
5-21	平锻机上模锻时的聚集工步如何设计? .....	195
5-22	第 I 类平锻件的模锻方案如何选择? 模锻工艺如何设计? .....	197

5-23	第Ⅱ类平锻件的模锻方案如何选择? 模锻工艺如何设计? .....	200
5-24	第Ⅲ类平锻件的模锻方案如何选择? 模锻工艺如何设计? .....	202
5-25	平锻机吨位如何选择? .....	204
5-26	平锻模的结构有什么特点? .....	204
5-27	平锻模的终锻模膛、预锻模膛怎样设计? .....	207
5-28	平锻模的聚集模膛、切边模膛、穿孔模膛怎样设计? .....	209
5-29	平锻模的其它模膛结构是怎样的? 后定料装置结构是怎样的? .....	212
5-30	自由锻工艺制订的内容是什么? 自由锻件图如何设计? 什么是锻造比? .....	213
5-31	自由锻确定原毛坯重量和尺寸的方法是怎样的? .....	214
5-32	自由锻变形工艺如何确定? .....	216
5-33	大型锻件的锻造有何特点? .....	218
5-34	大型锻件锻造的任务和方法是什么? .....	219
5-35	大型锻件的热处理任务是什么? 如何预防锻件出现白点? .....	220
5-36	胎模锻有何特点? 胎模锻件如何分类? .....	222
5-37	胎模锻件图如何设计? .....	223
5-38	胎模锻工序有哪些种类? 各自的作用是什么? .....	224
5-39	各类锻件常用的胎模锻工艺方案是怎样的? .....	228
5-40	胎模设计有何要求? 胎模的类型与结构是怎样的? .....	231
<b>第六章 锻造变形后工序</b> .....		236
6-1	锻造变形后工序有哪些种类? .....	236
6-2	什么是锻件的冷却? 冷却内应力的种类、产生原因及分布是怎样的? .....	236
6-3	锻件的冷却方法有哪些? 冷却速度如何确定? .....	238
6-4	切边和冲孔的方式有哪些? 切边和冲孔模的类型有哪些? 如何选择? .....	239
6-5	切边模由哪些零件组成? 切边凹模如何设计? .....	241

6-6	切边凸模如何设计? 凸、凹模间隙如何确定? 凸模如何固定? .....	243
6-7	切边设备怎样选择? 模具闭合高度与切边压力机封闭高度的关系是怎样的? .....	246
6-8	卸飞边装置如何设计? .....	247
6-9	冲孔模如何设计? 切边冲孔复合模的结构是怎样的? .....	248
6-10	切边和冲孔力如何计算? 切边、冲孔模材料如何选择? .....	250
6-11	什么是锻件热处理? 目的是什么? 普通锻件热处理方法有哪些? .....	251
6-12	什么是锻件形变热处理? 常用方法有哪些? 其原理和工艺参数是怎样的? .....	253
6-13	校正的作用是什么? 校正方法有哪些种类? 校正模膛如何设计? .....	256
6-14	什么是精压? 精压的特点和分类是怎样的? .....	258
6-15	精压机的结构和特点是怎样的? .....	259
6-16	精压工艺如何实现? 精压件图和精压毛坯图如何设计? .....	260
6-17	表面清理的作用是什么? 清除局部表面缺陷、清除热毛坯氧化皮的方法有哪些? .....	262
6-18	锻造或热处理后清除锻件氧化皮的方法有哪些? 各有何特点? .....	263
6-19	影响锻件质量的主要因素有哪些? .....	265
6-20	锻件质量检验的主要方法有哪些? 各有什么特点? .....	267
<b>第七章 特殊金属锻造</b> .....		272
7-1	不锈钢的可锻性是怎样的? .....	272
7-2	各类不锈钢的锻造有哪些特点? .....	273
7-3	不锈钢锻造的生产要点有哪些? .....	276
7-4	不锈钢锻造的锻模材料如何选择? .....	278
7-5	铜合金的可锻性是怎样的? .....	279
7-6	铜合金在锻造加热时应该注意哪些问题? .....	280

7-7	铜合金锻造的生产要点有哪些？	282
7-8	铝合金的可锻性是怎样的？	286
7-9	铝合金锻造的生产要点有哪些？	287
7-10	铝合金锻件产生粗晶的原因是什么？防止粗晶的措施有哪些？	290
7-11	钛合金有什么特点？钛合金怎样分类？钛合金的可锻性怎样？	291
7-12	钛合金锻造时，锻造温度和变形参数如何确定？	293
7-13	钛合金锻造时，锻模设计有什么特点？	296
7-14	钛合金锻造的生产要点有哪些？	297
7-15	高温合金的可锻性怎样？	302
7-16	高温合金的晶粒尺寸对锻件质量有何影响？如何控制晶粒尺寸？	304
7-17	高温合金锻造的生产要点有哪些？	306
7-18	镁合金的可锻性怎样？	310
7-19	镁合金的锻造生产要点有哪些？	311
<b>第八章 特殊锻造方法</b>		<b>315</b>
8-1	精密模锻有什么特点？精密模锻常用的方法有哪些？	315
8-2	精密模锻的加热温度在什么范围？	316
8-3	影响精密模锻件精度的因素主要有哪些？	317
8-4	精密模锻的模具结构类型是怎样的？	318
8-5	精密模锻模具的模膛尺寸如何确定？	320
8-6	精密模锻模膛的尺寸精度、表面粗糙度，以及模具的强度、刚度、润滑如何考虑？	321
8-7	挤压时，死区是怎样形成的？对挤压件质量有何影响？	322
8-8	挤压时，杆部裂纹是怎样产生的？	323
8-9	保证挤压件质量的措施有哪些？	324
8-10	怎样表示挤压变形程度？	325
8-11	影响挤压力的因素有哪些？	325
8-12	挤压模结构有什么特点？	328
8-13	挤压凸模如何设计？	328

8-14	挤压凹模如何设计?	329
8-15	挤压模具材料如何选择?	331
8-16	径向挤压有什么特点?	332
8-17	什么是静液挤压?有什么特点?	333
8-18	什么是高速模锻?高速成形时,金属变形流动有什么特点?	335
8-19	高速成形对金属充填模膛有什么影响?	337
8-20	高速成形时容易产生哪些缺陷?	337
8-21	高速锤上模锻工艺有什么特点?	339
8-22	辊锻时,金属咬入条件是什么?	339
8-23	什么是前滑和后滑?什么是前滑率?如何确定?	339
8-24	辊锻时,金属变形流动有什么特点?什么是延伸系数?什么是模膛系列?	341
8-25	如何进行辊锻工艺设计?辊锻模的结构及模具材料有什么特点?	342
8-26	什么是弯曲镦锻?	344
8-27	什么是径向锻造?其工作特点和应用范围是怎样的?	345
8-28	常用的径向锻造设备有哪些?	347
8-29	什么是粉末锻造?其工艺过程是怎样的?怎样进行高温合金的粉末锻造?	347
8-30	什么是液态模锻?有什么特点?	349
8-31	液态模锻的成形机理是怎样的?	352
8-32	液态模锻的主要工艺参数有哪些?	354
8-33	液态模锻的模具有哪些结构形式?模具设计要点有哪些?	356
8-34	什么是等温模锻?	357
8-35	等温模锻的设备、工艺和模具有什么特点?	358
8-36	超塑性模锻有怎样的特点?	360

## 第九章 锻模 ..... 363

9-1	热锻模的工作环境是怎样的?影响锻模寿命的因素有哪些?	363
-----	----------------------------	-----

9-2	锻模的失效形式有哪些? .....	364
9-3	锻模失效的原因是什么? 有什么预防措施? .....	366
9-4	热锻模材料性能的基本要求是什么? .....	369
9-5	热锻模的热处理工艺是怎样的? .....	369
9-6	热切边模的热处理工艺是怎样的? .....	373
9-7	锻模在使用前需要做哪些准备工作? .....	373
9-8	锻模冷却与润滑的作用是什么? 常用的冷却与润滑剂有 哪些? 有什么特点? .....	375
9-9	什么是锻模的堆焊修复? 如何进行? .....	377
<b>参考文献</b> .....		<b>380</b>

# 第一章 锻造成形基础

## 1-1 什么是锻造？锻造怎样分类？各有什么特点？

锻造是诸多材料加工方法中的一类。

锻造一般属于体积成形，是通过金属体积的转移和分配，来获得机器零件或接近于零件尺寸的毛坯，锻造的产品称为锻件。锻造多在加热状态下进行。金属材料通过锻造成形，可以获得所需要的形状和尺寸，同时其内部组织能够得到显著改善，使用性能得到提高。因此，承受较大、复杂载荷的各种零件或构件，一般都采用锻造方法进行生产。

锻造通常分自由锻和模锻两大类。

自由锻一般是在自由锻设备上，利用简单的工具将金属锭料或块料锻成特定形状和尺寸。自由锻主要用于单件、小批量生产。随着批量需求的增大，使用的工具逐渐复杂，产生了胎模锻。各类机械修造厂的锻造车间多采用自由锻、胎模锻的方法进行生产。制造各种重型机器中关键性承载零件所需要的大型锻件（例如大型汽轮机转子和涡轮、巨轮及航母发动机曲轴等），也需要在大型水压机上自由锻生产。

模锻是适合于大批量生产锻件的锻造方法。模锻时，使用特制的、开设有与锻件形状一致或相近的型腔（模膛）的锻模，将锻模安装在锻造机器上，金属毛坯置于锻模的模膛中，锻造机器通过锻模对毛坯施加载荷，使毛坯产生塑性变形，同时变形流动又受到模膛空间的控制。模锻中也经常引入多种体积成形方式来生产锻件，例如挤压、辊锻、横轧等都可以纳入模锻的范畴。

模锻除了具有很高的生产率，还具有锻件形状尺寸精确、材料利用率较高、流线分布更为合理，零件使用寿命高、生产操作简便等优点。



## 1-2 锻造生产工艺过程一般是怎样的？锻造成形的实质是什么？

锻造生产工艺过程以锻件塑性变形为核心，由一系列加工工序组成。

(1) 锻造变形前工序 主要有下料和加热工序。下料工序按照锻造所需要的规格尺寸制备原毛坯，必要时还要对原毛坯进行除锈、除表面缺陷、防氧化和润滑等处理；加热工序按照锻造变形所要求的加热温度 and 生产节拍对原毛坯进行加热。

(2) 锻造变形工序 在各种锻造设备上对毛坯进行塑性变形，完成锻件内部和外在的基本质量要求。其过程可能包括若干工序。

(3) 锻造变形后工序 锻造变形后，紧接着就是锻件的冷却过程。而后，为了补充前期工序的不足，使锻件完全符合锻件产品图的要求，还需要进行：切边冲孔（对模锻）、热处理、校正、表面清理等系列工序。有时，将锻后冷却与热处理过程紧密结合，以获得特定的锻件组织性能。

在各道工序间，以及锻件出厂前，都要进行质量检验。检验项目包括几何形状尺寸、表面质量、金相组织和力学性能等，根据工序间半成品以及锻件的要求确定。

锻造成形的实质，是通过工具或模具对毛坯施加外力的作用，毛坯吸收机械能，内部产生应力状态分布的变化，发生材料质点的位移和变形流动；对于热锻造，毛坯还由于被加热而吸收热能，内部产生相应的温度分布变化。在力能和热能驱动下，毛坯产生外观形状尺寸以及内部组织性能的改变。

## 1-3 什么是镦粗变形？主要工艺特点是什么？

镦粗是最基本的锻造变形方式，可以使毛坯高度减小而横截面积增大。在许多锻造工艺方法中都不同程度地存在着镦粗变形的过程。同时，镦粗也是实际的锻造工序（工步），一般用于短轴类（饼块类）锻件的成形；锻造空心锻件时，利用镦粗为冲孔做准备；交替进行镦粗和拔长可以增加变形程度，充分改善锻件组织性能。